

DEDUCCIÓN DE UNA EXPRESIÓN PARA PREDECIR LA COTA DE LA NIEVE EN CASTILLA Y LEÓN

G. Buendía Moya

GPV del CMT en Castilla y León. INM

RESUMEN

En este trabajo hemos obtenido una expresión para el cálculo de la cota de la nieve en función de dos parámetros: el espesor h y la temperatura del aire en superficie. Con objeto de obtener dicha expresión, hemos estudiado numerosas situaciones de nieve desde el año 1966 y que han afectado a uno o más de los observatorios de la Comunidad. Para cada uno de estos observatorios se ha representado en un diagrama, disponiendo en los ejes coordenados el espesor h y la temperatura T , una nube de puntos con los casos de lluvia, nieve y aguanieve. La frontera que divide los casos de nieve y lluvia está constituida por puntos de aguanieve. Esta nube de puntos frontera se ha ajustado a una función, que resulta ser una función hiperbólica de h y T , de manera que en los casos en que se produce nieve o aguanieve a mayor valor de h menor tiene que ser la temperatura T , y al contrario. A partir del conjunto de curvas ajustadas para cada observatorio se ha podido deducir una expresión para la altitud de la cota de la nieve.

1. Introducción

Frecuentemente, a principios de Invierno, se producen nevadas en cotas relativamente bajas de la geografía de Castilla y León. Son sucesos que a menudo sorprenden por tratarse de frentes cálidos que vienen marcados en los mapas por un haz de líneas de espesor 500/1000 con valores bastantes altos, incluso superiores a 5460 m. Algunos autores mencionan que las nevadas pueden producirse para valores tan altos del espesor como 5520 m (1). Hasta ahora, en las predicciones de nevadas, hemos utilizado una expresión que sólo tenía en cuenta el valor del espesor h , de manera que de acuerdo con una expresión teórica se hace corresponder a cada valor de h una cota de nieve. Sin embargo, lo que hemos observado es que con valores relativamente altos de h pueden registrarse nevadas en cotas bajas si la temperatura en el suelo es fría, por lo general inferior a 4 grados. En la situación de nevadas que se produjo el día 16 de diciembre de 1997, un frente cálido se desplazó de sur a norte en Castilla y León, deslizándose la masa cálida sobre una masa muy fría de aire que descansaba sobre el suelo, siendo la temperatura en Valladolid a las 00 horas de 0,8 ° C. El sondeo de Madrid de las 00 horas, que puede considerarse representativo también de la zona Castellano Leonesa, por soplar aire del SW, mostraba junto al suelo una capa fría, casi isoterma, de una temperatura cercana a los 0 °C, que se extendía hasta los 800 mb, pudiéndose observar también la inversión frontal que marca la frontera entre el aire frío de debajo y el cálido que se desliza por encima.

Las precipitaciones de nieve afectaron a todos los observatorios de la Comunidad, recogiendo en algunos puntos cantidades de precipitación importantes, del orden de 34 litros en 24 horas en Palencia y 13 en Valladolid. Las precipitaciones de nieve se produjeron con valores relativamente altos del espesor 500/1000, del orden de 5430 m. La expresión que normalmente utilizamos en este GPV, a saber:

$$A_c = 12,08(h - 5300) + 100 \quad [1]$$

nos daría nevadas por encima de los 1500 metros, valor que, en este caso, está en desacuerdo con la experiencia. Esta expresión es el resultado de un modelo de atmósfera en el que se deduce la altitud de la isoterma de 0° C y su nivel de presión en función del espesor 500/1000 (2). Este modelo dio buenos resultados en los casos de nevadas con el paso de frentes fríos o en situaciones de gota fría.

2. Metodología utilizada

Con objeto de mejorar el método mencionado anteriormente se estudiaron 95 situaciones de nevadas, ocurridas entre los años 1996 y 2001, en cada una de las cuales se anotaron observaciones de nieve y lluvia. El número total de observaciones tenidas en cuenta es de **1009**. De las cuales **685** pertenecen a los observatorios principales de la Comunidad y **324** a estaciones colaboradoras. Del total de observaciones

454 son datos de nieve, 183 de agua-nieve, y 372 de lluvia. Las observaciones de lluvia se tomaron en aquellos observatorios principales que fueron simultáneas o sinópticas con las observaciones de nieve o agua-nieve de otros observatorios principales de la Comunidad. A continuación reseñaremos los observatorios principales incluyendo entre paréntesis la altitud de los mismos en metros: León (914), Zamora (660), Salamanca (790), Valladolid (735), Burgos (881), Soria (1080), Segovia (1005), Ávila (1010), Ponferrada (555), Villanubla (845). También se consideraron los datos de 44 estaciones colaboradoras. Las observaciones de los observatorios principales son las que se han utilizado para la deducción de la cota de nieve, y las correspondientes a las estaciones secundarias se han empleado para la validación del procedimiento deducido. Las observaciones de los observatorios principales corresponden a las observaciones sinópticas tomadas entre las 06 y las 18 horas, que es el intervalo de tiempo en que funcionan todos los observatorios de la Comunidad.

Los datos básicos que hemos empleado para deducir la expresión de la cota de nieve han sido: el espesor 500/1000, que vamos a denominar con la letra h y la temperatura en el suelo a las 00 horas en el observatorio de Valladolid, que denominaremos con la letra T_{00} . El espesor h lo hemos deducido de los mapas sinópticos de superficie y de 500 mb de las 12 horas del INM, utilizando interpolaciones lineales para obtener el valor correspondiente a cada observatorio. El periodo de validez de la predicción de la cota de nieve es de 12 horas, es decir de 00 a 12 horas. Si, por el contrario, tomamos como referencia la temperatura a las 12 horas y el espesor 500/1000 de las 00 horas, el periodo de predicción comprendería desde las 12 hasta las 0 horas del día siguiente.

3. Representación gráfica

Una vez que hemos determinado los espesores para cada estación en cada episodio de nevadas, hemos representado para el conjunto de los episodios los casos de nieve, agua-nieve y lluvia para cada uno de los observatorios principales. Como ejemplo expondremos el caso de Soria, que puede verse en la figura 1. En el eje de abscisas hemos dispuesto los espesores h y en ordenadas la temperatura T_{00} . En esta gráfica están incluidas todas las situaciones de nevadas que han afectado al observatorio de Soria. Los puntos azules representan nieve, los rojos agua-nieve y los amarillos lluvia. Estos últimos, como es lógico, representan aquellas situaciones en que habiéndose producido nieve en otros observatorios, en Soria se ha producido lluvia.

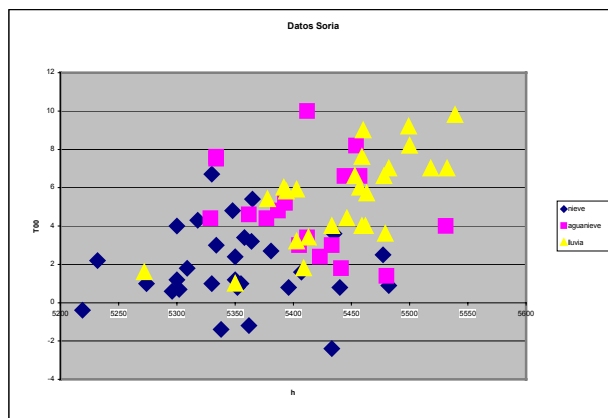


Figura 1: Representación de los datos de Soria

En la figura 1 pueden distinguirse claramente tres zonas: los puntos azules representan nieve, los amarillos lluvia y los rojos agua nieve. La zona de la nieve ocupa el espacio en que h es menor y las temperaturas son bajas. La zona de la lluvia está caracterizada por tener valores de h y T_{00} relativamente altos. Entre los dos se sitúa la franja de agua nieve. Esta misma representación la hemos hecho para cada uno de los observatorios de la Comunidad. Es necesario destacar, sin embargo, que la zona de nieve en el gráfico es tanto menor cuanto menor es la altitud de la estación, y al contrario, la zona de lluvia es tanto menor en el gráfico cuanto mayor es la altitud de la estación. También es de destacar que la franja de la zona de agua nieve se desplaza hacia mayores valores de T_{00} y h cuanto mayor es la altitud de la estación. Esto que hemos dicho viene corroborado por la observación de las figuras 1 y 2.

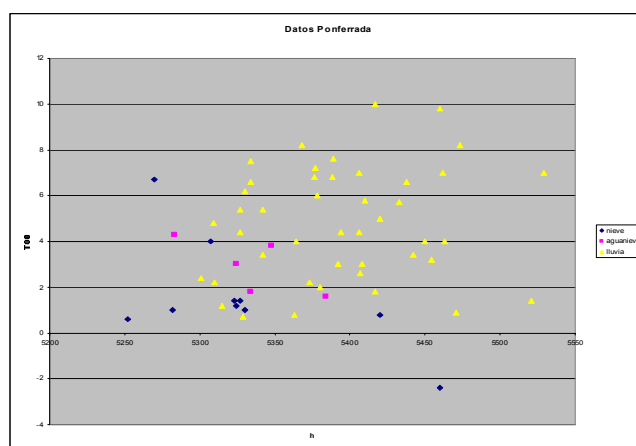


Figura 2: Representación de los datos de Ponferrada.

4. Ajuste

Esta misma representación la hemos hecho para todos los observatorios principales de la región. De cada una de las representaciones hemos elegido la franja de agua-nieve y hemos intentado ajustar la nube de puntos de cada una de ellas a una función mediante un programa de ordenador (3). Una vez estudiados los coeficientes de correlación que correspondían a diversos ajustes de funciones, hemos considerado que en conjunto el que más se correlacionaba era el representado por la función:

$$T_{00} = a + \frac{b}{h} \quad [2]$$

Para cada una de las bandas de agua-nieve de cada uno de los observatorios principales se han calculado los coeficientes de ajuste, que vienen expuestos en la tabla 1.

Estación	A	B	Coefficiente de correlación	Error standard
León	-147,567	816065	0,629913	1,84107
Zamora	-87,662	480034	0,379686	1,90338
Salamanca	-214,985	1161240	0,82483	1,40324
Valladolid	-104,742	569340	0,537225	1,71833
Burgos	-146,51	809428	0,738207	1,39324
Soria	-154,652	854220	0,761129	0,987568
Segovia	-112,394	622728	0,35438	2,33482
Ávila	-180,932	995233	0,647902	1,49936
Villanubla	-187,473	1021400	0,641947	2,05451
Ponferrada	-182,022	983859	0,813701	1,34005

Tabla 1: Coeficientes de ajuste

Como vemos en esta tabla las bandas que tienen un coeficiente de correlación mas alto son las correspondientes a Salamanca, Soria y Ponferrada. El siguiente paso es encontrar una función que nos determine la altitud de cada una de las bandas de ajuste. Como hemos dicho antes las bandas de agua-nieve se desplazan en la grafica T_{00} -h hacia valores más altos de h a medida que se incrementa la altitud, tal y como muestra la figura 3.

5. Determinación de la cota de la nieve

En la figura 3, dos bandas extremas , correspondientes a Ponferrada y Soria, están separadas por un cierto espacio que está ocupado por las bandas de otros observatorios de altitud intermedia. Las ecuaciones de las bandas representativas de Ponferrada y Soria son ,de acuerdo con los coeficientes de la tabla 1,

$$T_{\text{soria}} = -154,652 + (854220/h) \quad ; \quad T_{\text{ponferrada}} = -182,022 + (983859/h) \quad [3]$$

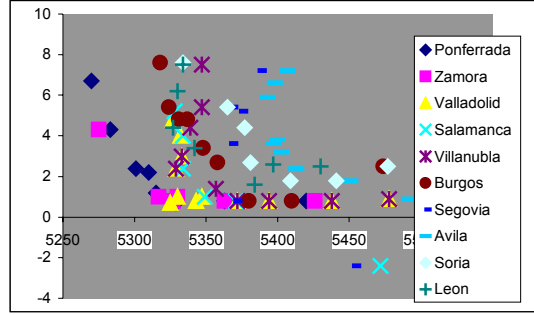


Figura 3: Representación del conjunto de bandas de aguanieve

La variación de la altitud para un espesor h determinado puede escribirse en la forma:

$$\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_h = \frac{A_{\text{soria}} - A_{\text{ponferrada}}}{T_{\text{soria}} - T_{\text{ponferrada}}} \quad [4]$$

En la que A representa la altitud y T la temperatura de las bandas de agua nieve. Sustituyendo las altitudes de Soria y Ponferrada y sus expresiones en T , e integrando con relación a T , tendremos para la altitud A de la cota de nieve:

$$A = \frac{19,18hT_{00}}{h - 4736,54} + f(h) + K \quad [5]$$

En cada curva ajustada de una banda, de una determinada altitud A , debe cumplirse que:

$$\frac{\partial A}{\partial h} = - \frac{\partial A}{\partial T} \frac{dT}{dh} \quad [6]$$

en donde dT/dh es la pendiente de cada una de las curvas ajustadas de agua nieve. Si derivamos la ecuación [5] con respecto a h y la igualamos a la ecuación [6], obtenemos, teniendo en cuenta la [2] e integrando con respecto a h , una expresión para $f(h)$, que sustituida en [5], nos dará finalmente para la altitud de la cota de nieve:

$$A = \frac{h(b'T_{00} + c') - d'}{h - a'} \quad [7]$$

en la que b' , c' , d' y a' son constantes. Para cada altitud A , tendremos una curva ajustada correspondiente, que la obtendremos despejando T de la ecuación anterior:

$$T_{00} = \frac{A - c'}{b'} + \frac{d' - Aa'}{b'h} \quad [8]$$

Teniendo en cuenta la expresión [2], podemos hallar el valor de las constantes si aplicamos las ecuaciones anteriores a un par de estaciones principales. Por ejemplo, para Ponferrada, en que $A = 555$, $a = -182,022$, $b = 983859$ y Soria en que $A = 1080$, $a = -154,652$ y $b = 854220$, obtenemos una expresión que, después de verificarla, la modificamos ligeramente, con objeto de que los errores sean mínimos, obteniendo finalmente:

$$A = \frac{h(17T_{00} + 4074) - 21498973}{h - 4560} \quad [9]$$

Si aplicamos, como ejemplo, esta expresión a los datos que tenemos de la banda de agua-nieve del observatorio de León, obtenemos:

LEON		A=914 m		
h	T_{00}	A.Calculada	Ac-A	
5334	7,5	1178	264	
5330	6,2	1009	95	
5327	4,4	784	-130	
5348	3,8	804	-110	
5397	2,6	868	-46	
5384	1,6	706	-208	
5417	1,8	858	-56	
5380	2	734	-180	
5436	0,8	823	-91	
5368	8,2	1384	470	
5389	5,4	1146	232	
5397	4,8	1109	195	
5394	4,4	1054	140	
5430	2,5	981	67	
5531	1,4	1201	287	

Tabla 2: Aplicación a los datos de agua-nieve de León de la expresión [9]

h es el espesor 500/1000, T_{00} es la temperatura en Valladolid a las 00 horas y A_c-A es la diferencia en metros entre la altitud calculada para la cota de nieve y la altitud del observatorio. Como puede observarse, el error cometido en la mayoría de los casos es inferior a 300 metros, y es este tipo de error el que se comete al aplicar la expresión a los datos de otros observatorios.

6. Características del modelo

En la figura 4 representamos la altitud de la cota de nieve en función del espesor h y de la temperatura T_{00} , de acuerdo con la expresión [9]. Si observamos la gráfica podemos concluir que para un valor fijo de h la altitud A varía grandemente con T_{00} . Sin embargo, si mantenemos fija T_{00} y variamos h , la variación de A es mucho menor que en el caso anterior. La altitud de la cota de la nieve es muy sensible a la temperatura existente en las capas bajas de la atmósfera. Por otra parte la recta azul, que aparece en la figura 4, etiquetada como teórica, corresponde a la representación de la ecuación [1]. Las otras curvas, que resultan ser hipérbolas, corresponden a las temperaturas $T_{00}=-2, 0, 2, 4, 6, 8$ y 10 °C.

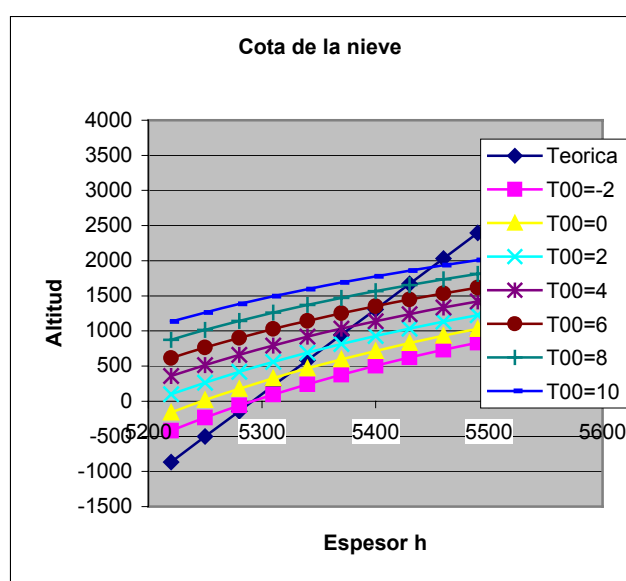


Figura 4: La cota de la nieve en función de h y de T_{00}

7. Validación

La expresión [9] la hemos aplicado a todos los datos de todos los observatorios principales así como a todas las observaciones de las estaciones secundarias. Un ejemplo de validación puede ser el representado en la tabla 3.

FECHA		27/02/2001		
T00=4,0				
ESTACION	ALTITUD	h	Meteoro	A.Calculada Error
M.Pomar	600	5280N	515	Bien
B.de Luna	1056	5307N	646	Bien
S.Lucia	1167	5307N	646	Bien
Almazcara	584	5307N	646	62
Cervera	1010	5274N	485	Bien
Vinuesa	1205	5300N	613	Bien
Burgos	881	5280N	515	Bien
Leon	914	5307N	646	Bien
Salamanca	790	5334AN	768	Bien
Villanubla	845	5332N	759	Bien
Valladolid	735	5332N	759	24
Zamora	660	5334N	768	108
Soria	1080	5300N	613	Bien
Avila	1010	5341N	798	Bien
Segovia	1005	5307N	646	Bien
Ponferrada	555	5307N	646	91

Tabla 3: Ejemplo de validación de la expresión [9]

En esta tabla N significa nieve y AN aguanieve. Donde figura la palabra “bien” significa que la altitud de la nieve calculada es menor que la correspondiente al observatorio. El número que aparece corresponde al error cometido en metros, cuando la altitud calculada es mayor que la del observatorio. Para el caso de la lluvia debemos de adoptar parecido criterio, es decir, si hemos calculado una altitud para la nieve superior a la de un observatorio determinado y se ha cifrado lluvia en el mismo, pondremos “bien”. La tabla 4 resume los resultados de la validación de todos los datos considerados

Error en metros	Bien	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-1000
Nº de casos	740	75	49	48	20	13	12	34

Tabla 4: Resultados de la validación

De la tabla anterior podemos deducir que en el 87 % de los casos se ha cometido un error menor de 200 metros.

8. Referencias

Howard B. Bluestein. Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Volume II. Observations and Theory of Weather Systems. Oxford University Press.1993.p 428.
 Buendía Moya, G.1992:”Determinación de las velocidades verticales del aire en la Troposfera por medio de los mapas sinópticos”.Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.p 391.
 Statgraphics plus for windows 4.0.-Professional version.-Copyright c 1994-1999 by Statistical Graphics Corp.